

Les formes et dépôts nivéo-éoliens actuels en Antarctique et au Nouveau-Québec

André Cailleux

Volume 16, numéro 39, 1972

URI : <https://id.erudit.org/iderudit/021079ar>

DOI : <https://doi.org/10.7202/021079ar>

[Aller au sommaire du numéro](#)

Éditeur(s)

Département de géographie de l'Université Laval

ISSN

0007-9766 (imprimé)

1708-8968 (numérique)

[Découvrir la revue](#)

Citer cet article

Cailleux, A. (1972). Les formes et dépôts nivéo-éoliens actuels en Antarctique et au Nouveau-Québec. *Cahiers de géographie du Québec*, 16(39), 377–409.
<https://doi.org/10.7202/021079ar>

Résumé de l'article

En Antarctique, région de McMurdo, vallée de Victoria, des dépôts nivéo-éoliens, faits de lits alternants de neige et de sable entraînés par le vent, épais de 0 à 2 m, sont pérennes. Conjointement aux glaciers à sable inclus, ils sont peut-être apparentés aux dépôts stratifiés découverts par Mariner 9 dans la région polaire sud de la planète Mars.

À Poste-de-la-Baleine, 55°17' Nord, 77°46' Ouest, les dépôts nivéo-éoliens sont annuels, toute la neige fondant chaque été. Ils contribuent à engraisser la première plage soulevée sableuse et certaines dunes. Sur le pied de glace, ils forment 1, 2 ou 3 remparts littoraux éphémères ; le plus haut est le plus proche du rivage. Sur la neige fraîche se forment des rides mixtes de sable et neige, dont le dessin ressemble à celui de champs de dunes vus d'avion (traverse, réticulé, lobé ... etc.) et est beaucoup plus photogénique que celui des rides de neige sur neige ou de sable sur sable. Suivant la proportion relative de neige et de sable, l'albedo peut prendre toutes les valeurs entre celles de la neige pure et du sable pur : ainsi pourraient peut-être s'expliquer une partie des variations d'albedo, en fonction du temps, observées à la surface de Mars.

Les formes de dénivation sont des cônes pointus, des mamelons doux dont la surface est craquelée typiquement, des boulettes de sable, des bourrelets de sable (micromoraines de dénivation) et des réseaux de sable. Sous les surplombs de la glace impure qui forme la base du nivéo-éolien sur l'estran, des gouttelettes tombent ; elles forment, si elles sont d'eau pure, des microcratères d'impact ; si elles sont de sable humide, des pastilles de sable ; dans les cas intermédiaires, des stalagmites de sable.

LES FORMES ET DÉPÔTS NIVÉO-ÉOLIENS ACTUELS EN ANTARCTIQUE ET AU NOUVEAU-QUÉBEC *

par

André CAILLEUX

Centre d'Études nordiques, Université Laval, Québec

En 1972, le vaisseau spatial Mariner 9 a découvert, dans la région polaire sud de la planète Mars, de curieux dépôts stratifiés clairs, dont l'épaisseur totale peut atteindre 2 à 4 kilomètres. L'une des explications possibles, proposée par les astronomes, est qu'il s'agirait de dépôts mixtes de neige (ou de givre) carbonique et de poussières minérales apportées par le vent, lors des tempêtes qui se déchaînent sur cette planète. Il en est résulté un regain d'intérêt pour les dépôts peut-être apparentés, faits de neige ordinaire (hydrique) et de sable, mélangés ou en lits alternants, qu'on trouve sur Terre, en particulier à Poste-de-la-Baleine (Nouveau-Québec), où ils ont été étudiés dans le cadre du projet Hudsonie, du Centre d'Études nordiques, alors dirigé par L.-E. Hamelin (Rochette et Cailleux, 1971).

Aussi est-il opportun de faire le point de l'état actuel de la question compte tenu des études poursuivies ultérieurement à Poste-de-la-Baleine en collaboration avec Alfred Jahn, que nous tenons à remercier ici chaleureusement, ainsi que L.-E. Hamelin, Benoît Dumont et Fabien Caron, pour leurs conseils et leur aide. La plupart des photographies leur sont dues.

I. — DÉFINITIONS ET HISTORIQUE

On sait que par dépôts nivéo-éoliens, on désigne les dépôts mixtes faits de neige et de grains de sable, limon, débris végétaux ou autres, accumulés par le vent. Les uns sont annuels: l'été venu, la neige fond. Les autres sont pérennes: la neige persiste en partie, au moins certaines années, de sorte que peu à peu le dépôt mixte s'épaissit. Dans le second cas surtout, mais quelquefois aussi dans le premier, la neige et le sable sont disposés en couches alternantes superposées, d'épaisseurs variables. D'un autre point de vue, on peut distinguer, parmi ces dépôts, ceux qui sont essentiellement naturels, et ceux qui sont surtout anthropiques: les neiges salies,

* *Mélanges* du Centre d'Études nordiques, n° 60 (HUD-26).

près des villes ou des installations industrielles, sont un exemple du dernier cas.

Dès 1751, Linné (p. 76) signale la présence de sable dans la neige en Scanie (Suède) en hiver ; il relate aussi que dans l'île d'Oland, il y a tant de sable mêlé à la neige des poudreries, que les traîneaux ont du mal à glisser. Le sable dans la neige est encore signalé par Nares (1878, p. 142), puis au Groenland oriental par Kruuse (1911), au nord-ouest du Groenland par Rasmussen (1919, p. 209-212 et 228).

La première étude quantitative est faite par Jahn (1969), dans 14 stations des Sudètes. Elle porte sur des dépôts annuels. Pendant l'hiver 1963-1964, il se dépose sur la neige, sous forêt, 22 grammes de matière par mètre carré ; dans les prairies, 49 ; dans les terres arables, 825 : l'influence de l'homme est ici évidente. Cette matière est surtout minérale, les débris végétaux et autres matières organiques ne formant que 11 à 12% sous forêt et en prairie, et 4 à 5% dans les terres arables. D'une année à l'autre, la quantité déposée varie beaucoup : dans la proportion de 1 à 14 ou même davantage, l'année 1963-1964 étant celle du maximum jusqu'ici connu. Bien que notable, ce transport par le vent, dans ce pays montagneux, est nettement moins important que le transport par l'eau.

Quant aux photographies de dépôts nivéo-éoliens annuels actuels, les premières sont publiées de Laponie par Hamberg (1907, p. 32, fig. 15), puis du nord-est du Groenland par Koch et Wegener (1911, p. 67, fig. 20), du Spitzberg par Samuelsson (1926, p. 98-104, fig. 10 et 11), de Pologne par Kobendzina (1961, p. 539-542).

Entre-temps, des couvertures de sable, datant des périodes froides du Quaternaire, observées aux Pays-Bas, en Belgique et en France, sont interprétées par C.E. Wegmann et Edelman comme ayant été à l'origine déposées par des tempêtes mixtes de sable et de neige ; puis, l'été venu, les lits de neige intercalés fondaient. Et de fait, aujourd'hui, ces sables recouvrent le terrain comme d'un manteau, et ils sont faits de lits superposés, parallèles à la surface du sol, mais onduleux et d'épaisseur et de granulométrie inégales, ce qui les distingue des sables de dunes. Le nom de *nivéo-éolien* est proposé pour eux, sur le terrain même, à Asch-en-Campine, par le regretté Van Straelen, lors d'une excursion du Congrès « Sédimentologie et Quaternaire », en 1946, et adopté à l'unanimité.

Peut-être certains placages de sable éolien du Québec méridional sont-ils en réalité d'anciens dépôts nivéo-éoliens quaternaires dont la neige a fondu. Ici, nous étudierons le nivéo-éolien actuel. Et nous commencerons par celui qui est le plus durable, le nivéo-éolien pérenne.

II. — LE NIVÉO-ÉOLIEN PÉRENNE

Il a été décrit pour la première fois en Antarctique, région de Mc Murdo, dans la vallée sans glaces de Victoria (Cailleux, 1962 ; 1963,

p. 103 ; 1968, p. 59-62 et pl. 1-4). La température moyenne annuelle est d'environ -19°C , et les précipitations, exclusivement neigeuses, sont très faibles, environ 80 à 100 millimètres d'équivalent en eau, à en juger par celles des vallées voisines.

Les dépôts nivéo-éoliens occupent là peut-être 5 fois plus de surface que les dunes. Ils forment, sur les fonds de vallée et les versants en pente douce, des manteaux ou traînées allongés, en pente faible : 0 à 10° , médiane vers 2° .

Longueur : 500 à 2000 mètres.

En coupe verticale, on voit des lits alternants de sable et de neige, dont l'épaisseur va de 1 millimètre à plusieurs centimètres. En été, la couche supérieure est faite seulement de lits de sable, parce que le dépôt a dégelé sur 20 à 30 centimètres de profondeur, de sorte que le neige y a fondu. Plus bas, la neige tassée passe au névé et, par endroits, à la glace grenue, transparente ; ailleurs les grains de cette glace interstratifiée peuvent atteindre 3 millimètres et rappellent des petits pois : il s'agit d'un faciès de recristallisation.

La surface sableuse de ces manteaux nivéo-éoliens, comme celle des dunes, est dépourvue de toute végétation et présente des rides espacées de 6 à 10 centimètres. Mais elle présente en outre des rides espacées de 80 à 100 centimètres et hautes d'environ 7 centimètres. De telles grandes rides sont fréquentes, par ailleurs, sur la neige, mais plus rares sur les sables de dunes.

Contrairement aux dunes de sable voisines, les manteaux nivéo-éoliens de la vallée de Victoria sont peu épais, à tel point que de place en place les blocs morainiques du substratum en émergent : par endroits, on y trouve des nids de gravillons de 3 à 5 millimètres, rares, mais très typiques. Les différents lits de sable sont de grain différent, les uns plus fins, les autres plus grossiers, reflet probable de la force différente des tempêtes qui les ont arrachés, transportés et déposés. Souvent, le manteau nivéo-éolien est affecté de fentes de contraction par le froid, verticales, disposées en réseaux où dominent les angles droits ou approchant, et à maille de 10 à 20 mètres ; la largeur de ces fentes, vers le haut, est de 10 à 15 centimètres. Enfin par endroits s'observent des affaissements de 0,1 à 0,3 m de profondeur, 4 à 20 m de long, 2 à 5 m de large, peut-être dus au tassement de la neige sous-jacente ; et près des bords un peu plus raides, des crevasses, parallèles au bord et paraissant dues à un glissement, ou au sapement à la base par un ruisseaulet d'eau de fonte. Tous ces caractères opposent bien les manteaux nivéo-éoliens aux dunes, et pourront aider à les identifier dans les dépôts du passé, dans les régions qui, au Quaternaire, ont connu des conditions périglaciaires.

Et c'est bien ce qui a été fait aux Pays-Bas par Edelman et ses amis, puis en Belgique et jusqu'aux environs de Paris, où des placages nivéo-éoliens quaternaires ont été signalés.

En Antarctique, si l'épaisseur de neige et de sable est suffisante, la masse s'écoule lentement, et on a affaire à un glacier sableux (*Sandy glacier*) (Dort 1966, 1967, 1969). Certains glaciers, comme le glacier inférieur de Victoria (Lower Victoria Glacier), laissent voir sur leur front, en pente raide, les lits stratifiés remarquablement parallèles et peu inclinés, coupés par la tranche, de glace pure et de glace mêlée de quelques grains de sable éolien, rappelant en plus petit l'aspect stratifié observé par la tranche en bordure de la région polaire sud de la planète Mars.

III. — LE NIVÉO-ÉOLIEN ANNUEL DE POSTE-DE-LA-BALEINE

Nous envisagerons maintenant le nivéo-éolien actuel annuel, découvert en 1969 au Canada, province de Québec, sur la rive est de la mer d'Hudson, à Poste-de-la-Baleine, et étudié, grâce à l'aide du Centre d'Études nordiques de l'Université Laval, en juin 1969 et du 18 mai au 16 juin 1970 par J.-C. Rochette, Alfred Jahn et moi-même.

Poste-de-la-Baleine (Great Whale) est une localité d'environ 1000 habitants (550 Esquimaux, 350 Indiens, 120 Blancs) située par 55°17' Nord et 77°46' Ouest, sur la rive nord du court estuaire de la Grande rivière de la Baleine.



Photo A. JAHN (Juin 1970)

Photo 1 Reg de déflation. Au deuxième plan, dunes récentes montrant leur face exposée au vent. Poste-de-la-Baleine.

D'habitude, le bouclier Canadien granito-gneissique est pauvre en vastes espaces sableux. Poste-de-la-Baleine fait exception, parce que la Grande rivière de la Baleine, venue de l'est, a déposé à son embouchure des sables, que la mer a ensuite étalés en cordons littoraux, sur lesquels le vent a creusé des cuvettes de déflation et édifié des dunes (photo 1). Actuellement, la température moyenne annuelle de l'air y est d'environ $-4,3^{\circ}\text{C}$; on est dans la zone du *pergélisol discontinu*, attesté entre autres par des paises. On est aussi dans la zone *hémiarctique* de Jacques Rousseau, mosaïque de forêt dans les endroits abrités, de marais (*muskeg*) dans les bas-fonds plats et enfin, surtout sur les hauteurs, de rochers à lichens et rares autres plantes basses. La forêt est rendue possible par la moyenne de juillet, $10,6^{\circ}\text{C}$, et comprend surtout *Picea mariana*, avec quelques *Picea glauca* et *Larix*.

Les précipitations sont d'environ 680 mm par an, dont 270 mm en neige.

Les vents sont de direction très variable, mais très forts dans les sites exposés, comme celui de la Station météorologique, actuellement située à 700 mètres de la mer. Le tableau 1 en donne un exemple, pour l'année et pour les trois mois les plus importants pour notre étude : avril, mai et juin. La vitesse moyenne annuelle est de 5,7 mètres par seconde.

Tableau 1 *Pourcentage des cas et vitesse moyenne des vents des différents secteurs à Poste-de-la-Baleine, 1942-1954 (d'après C. Wilson).*

Hauteur de l'anémomètre au-dessus du sol : 9 m = 30 pi.

	Pourcentages				Vitesses moyennes							
	Avr.	Mai	Juin	An	Mètres à la seconde				Milles à l'heure			
					Avr.	Mai	Juin	An	Avr.	Mai	Juin	An
N	23	25	30	15	4,9	5,6	4,5	5,7	10,9	12,5	10,1	12,6
NE	6	9	6	6	5,5	6,1	5,2	5,1	12,3	13,7	11,6	11,5
E	14	12	8	13	4,2	4,1	4,5	4,7	9,5	9,3	10,1	10,5
SE	11	10	10	14	6,4	5,4	5,5	5,8	14,2	12,0	12,3	13,1
S	7	6	5	12	5,8	6,0	6,1	6,1	13,0	13,4	13,6	13,6
SW	6	7	7	11	6,6	6,5	5,6	6,4	14,6	14,5	12,4	14,3
W	20	17	21	17	5,4	5,0	4,8	6,4	12,1	11,3	10,7	14,2
NW	10	12	10	10	5,0	4,9	3,6	6,0	11,2	11,0	8,0	13,5
Calme	3	2	3	2								
Moyenne					5,1	5,2	4,7	5,7	11,5	11,7	10,4	12,6

A. Localisation du nivéo-éolien (figure 1)

Si intéressant soit-il, il n'occupe qu'une petite partie du territoire : environ 1 km², soit 1% de l'aire étudiée. Il est nettement localisé : au

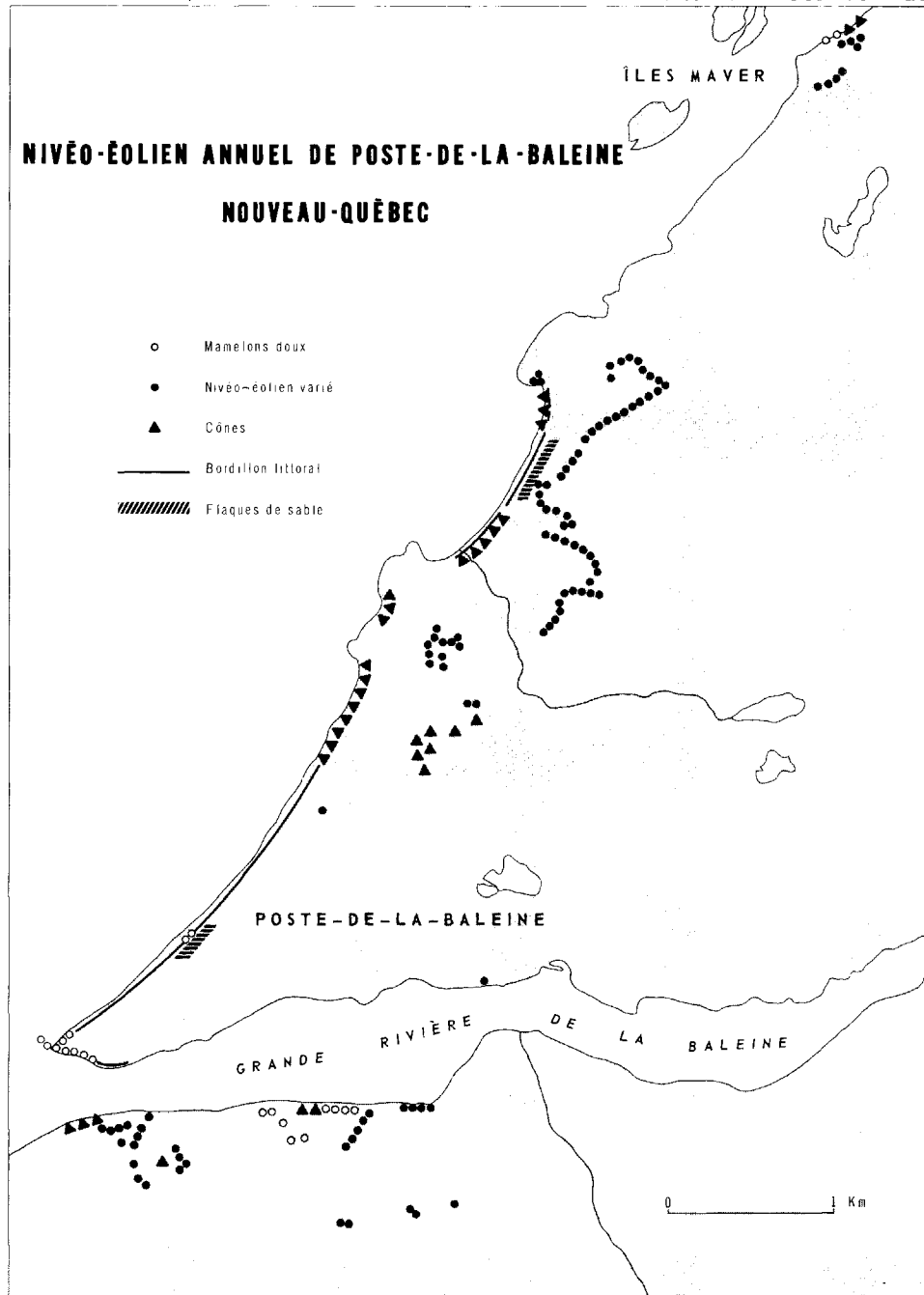


Figure 1 Carte du nivéo-éolien annuel de Poste-de-la-Baleine.

voisinage d'aires de déflation, de dunes et d'autres sources de sable ; sous forêt claire, près de la lisière, sur une largeur d'une trentaine de mètres au plus ; enfin en une bande allongée parallèlement au rivage de la mer, entre le cordon littoral sableux émergé et le pied de glace hivernal, bande formée d'un rempart, plus rarement de deux ou même de trois, parallèles au rivage (figure 1).

Une chute de neige ayant eu lieu le 22 mai 1970, on constate le lendemain que, là où, en amont du vent, il y avait du sable à nu, la neige fraîche est en partie parsemée de sable. La contre-épreuve est fournie le 10 juin sur l'île Bill of Portland, à la pointe sud, où il y a des blocs de pierre, mais pas de sable : or on y note des amas de neige et un rempart littoral nival, les uns et l'autre entièrement blancs, immaculés, sans sable inclus.

Les dépôts nivéo-éoliens sont fréquents sur les pieds de versant de dune, par exemple au nord-ouest de la Station géophysique, sur le versant nord du grand arc dunaire ; fréquents aussi au fond des cuvettes de déflation naturelle ou des excavations artificielles, dans les fonds de vallon où les ruisseaux sont gelés en hiver, et plus généralement dans les endroits abrités. Il est très frappant que le 23 mai 1970, alors que le vent souffle presque partout avec violence, il est au contraire beaucoup moins fort dans les fonds de cuvette et dans la dépression comprise entre le rempart nivéo-éolien littoral, haut d'environ 2 à 3 mètres, et le premier cordon littoral enherbé. En somme, la neige et le sable chassés par le vent se sont déposés de préférence dans les endroits calmes, ce qui est bien naturel.

Près de la piste d'atterrissage des avions, il se peut que le souffle des réacteurs ou celui des hélices chassent du sable et de la neige et ajoutent localement leur effet à celui du vent naturel, mais cette action anthropique est très limitée dans l'espace, comme le montre la présence de nivéo-éolien aussi bien développé loin de la piste, jusqu'à plus de 3 kilomètres au nord et 1 au sud.

Au sud de l'embouchure de la grande rivière, au pied de la falaise très raide entaillée dans les sables deltaïques soulevés, en creusant le sable, il arrive qu'on trouve de la neige ; le sable a été apporté là en partie par le vent, en partie aussi probablement par éboulis à partir de la falaise ; son origine est donc mixte, mais il s'agit d'un cas assez exceptionnel.

B. Les formes majeures d'accumulation

Fin mai début juin, alors que la fonte printanière a déjà fait disparaître de la neige, l'épaisseur maximale des dépôts nivéo-éoliens atteint encore jusqu'à 3 m sur le rempart littoral, 1,5 à 2 m dans le vallon juste au nord de la Station géophysique, 1,2 m dans les buttes sous la forêt, au sud de la rivière.

À la mi-juin, toutes les formes nivéo-éoliennes apparaissent comme faites de sable coiffant de la neige tassée et plus ou moins recristallisée. La couverture de sable est peu épaisse, 1 à 10 cm ; maximum 20 cm. En dessous, la neige est visible soit à la faveur de cassures ou d'éboulements, soit en attaquant le sable à la pelle ou à la hache. La neige est alors fondante, souvent imbibée d'eau ; elle a le plus souvent une texture en petits pois, parfois même en glace grenue, résultat probable d'une fonte précoce, suivie d'infiltration de l'eau et de recristallisation au contact de la neige encore très froide du dessous.

Fin mai début juin 1970, on voit encore par endroits des lits de sable interstratifiés dans la neige. Ils sont par exemple au nombre de deux dans l'une des buttes sous forêt au sud de la Grande rivière (photo 2), deux aussi au fond d'une cuvette de déflation entre la Station principale et la Station géophysique (photo 3), quatre dans la prairie au droit de l'île Malvern, à l'embouchure d'un ruisseau incisé dans les dunes, sur une coupe de 25 centimètres de haut. Tous ces lits de sable ont 3 à 20 millimètres d'épaisseur. D'autres coupes n'en montrent aucun, mais toutes contiennent des grains de sable éparpillés dans la neige, discernables à l'oeil nu et bien visibles à la loupe. Enfin le sable qui, à partir de la fin de mai, coiffe tous



Photo F. CARON (Mai 1970)

Photo 2 Coupe verticale à travers un dépôt nivéo-éolien en voie de fusion. Lits de neige, clairs, séparant trois lits de sable, foncés. De part et d'autre de la coupe, pente naturelle, avec sable superficiel humide, à gauche en boulettes, à droite en bourrelets et fronces. Poste-de-la-Baleine.



Photo A. JAHN (Juin 1970)

Photo 3 Coupe verticale à travers un dépôt nivéo-éolien en voie de fusion. Lits de neige, clairs, alternant avec des lits de sable, foncés. Au fond d'une caoudeyre (cuvette de déflation). Poste-de-la-Baleine.

les dépôts nivéo-éoliens, résulte évidemment de ce que la neige qui y était primitivement mêlée a fondu à partir du haut depuis le début du printemps. Il est donc possible, voire probable, que précédemment le dépôt nivéo-éolien ait contenu plus de lits de sable interstratifiés que nous n'en comptons en juin.

Il est difficile d'évaluer la teneur moyenne en sable des dépôts. On peut seulement noter des exemples. Ainsi, sur la neige fraîche tombée le 22 mai 1970, on trouve, le lendemain matin, des flaques de sable discontinues, épaisses seulement de 1 à 3 ou 4 mm ; dans la neige elle-même, les grains de sable épars n'occupent que 1‰ du volume, donc 3‰ de la masse (compte tenu de la masse volumique plus faible de la neige). À l'opposé, si on divise les épaisseurs maximales observées pour la couverture de sable superficiel (10 à 20 centimètres) et pour la totalité du dépôt (3 mètres) on obtient, pour le volume relatif du sable, 3 à 7%. Enfin ce volume relatif est plus fort à l'intérieur des terres que dans le rempart littoral, suralimenté en neige balayée par le vent sur la banquise.



Photo F. CARON (Mai 1970)

Photo 4 Sur le premier cordon littoral émergé, à chaumes d'*Elymus* de l'été dernier, neige fraîche et flaques de sable (gris) apporté par le vent sur de la neige qui, depuis, a fondu. D'où engraissement du cordon littoral.

Sur le terrain, les dépôts nivéo-éoliens forment des placages discontinus, passant à des placages continus, à des buttes ou enfin aux remparts littoraux.

Un bon exemple de placage discontinu se voit à l'ouest de la Station, au bord de la mer, sur le premier cordon littoral émergé sableux, remanié par le vent en dune basse, embryonnaire, et portant des *Elymus arenarius*, verts en été, mais à l'état de chaumes depuis l'automne jusqu'en juin (photos 4, 5 et 6). Pendant l'hiver, la neige, par son poids, a couché ces chaumes ; puis elle a fondu. Et sur les chaumes couchés se voient, le 20 mai, tous les 20 à 50 centimètres, des flaques de sable larges de 10 à 20 centimètres, épaisses de 1 à 5 ou 6 millimètres. Ce sable n'a pu venir là que cette année, donc sur la neige, ou mêlé à la neige, lors des tempêtes. Ainsi la dune littorale, sur son versant face à la mer, et aussi un peu sur le revers, s'est engraisée par apport de sable nivéo-éolien.

À 1 kilomètre plus au nord, à 500 m au sud du Carré Prairie, la plage soulevée ou cordon littoral la plus proche de l'estran présente, sur sa ligne de changement de pente, un rebord en saillie, dominant vers l'intérieur une



Photo F. CARON (Mai 1970)

Photo 5 *Au 2ème plan, banquise. Au 1er plan, premier cordon littoral émergé où alternent neige et sable.*



Photo F. CARON (Mai 1970)

Photo 6 *Au même point, une coupe verticale montre que du sable repose sur la neige tombée la veille. Nivéo-éolien.*

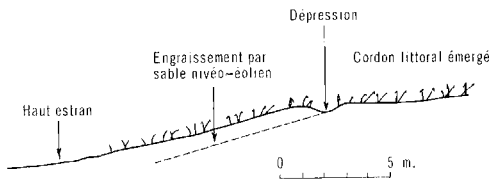


Figure 2 Coupe verticale à 500 m au Sud du Carré Prairie.

dépression de 1,5 à 2 m de large, et 30 centimètres de dénivelée (figure 2). Dans la dépression, le 20 mai, il reste encore de la neige. Aucune trace de ruissellement, toute l'eau de fonte s'infiltre dans le sable très perméable. L'explication la plus vraisemblable de cette forme remarquable est que le rebord en saillie est dû, ici aussi, à un engraissement de la plage soulevée par du sable nivéo-éolien, dont on voit les flaques recouvrant de place en place les chaumes couchés d'*Elymus* de l'année précédente.

Ces flaques ou placages de sable sont l'un des signes qui permettent, même après la fonte de la neige, de reconnaître quelle a été, l'hiver précédent, l'extension des dépôts nivéo-éoliens. On observe ainsi toutes les transitions entre les flaques discontinues et les placages continus. Par exemple, le 4 juin 1970, au sud de la Grande rivière de la Baleine, à l'ouest de la principale aire de déflation, sous la forêt, on observe, à quelques mètres de distance :

1. Aucun apport de sable. Herbe et litière à nu, non recouverts.
2. Couverture de sable blanc, uniforme, épais de 1 à 2 mm.
3. Deux minces couches de sable superposées ; l'inférieure est jaune, à grains grossiers ; la supérieure est blanche à grain fin. Toutes deux sont nivéo-éoliennes. La jaune apparaît en fenêtre, dans les lacunes de la blanche. La blanche forme par endroits des microbourrelets allongés, que nous décrirons plus loin (Microformes).
4. Manteau de neige fondante portant des glomérules de sable de 5 millimètres (Microformes).
5. Glomérules de 6 à 24 millimètres (Microformes).
6. Buttes de neige très localisées, atteignant 4 m de long, 1,5 de large, 1,2 de haut.

La forme majeure d'accumulation la plus importante par sa superficie et son volume est le *rempart littoral* (photos 7 et 8). Quand on va de la Station vers la mer, en direction du nord-ouest après avoir traversé les cordons littoraux soulevés successifs, puis le haut estran incliné en pente douce, sans neige le 20 mai 1970, et très balayé par le vent, on arrive à une contrepente assez raide (jusqu'à 15°) culminant en une crête, ou *rempart* (figure 3). Cette crête est surélevée de 1 à 2 mètres, et jusqu'à 3 mètres vers le nord et vers l'embouchure de la Grande rivière. Au-delà, vers le large, s'étend la banquise, avec fissures de marée parallèles au rivage, écartées de 4 à 10 mètres, et quelques autres fissures. En plan, la crête du rempart est en gros parallèle au cordon littoral voisin, toutefois en ligne légèrement brisée ou sinueuse, avec des saillies vers la mer, alternant



Photo Benoît DUMONT (Mai 1970)

Photo 7 À gauche, la banquise. Au fond, la terre ferme, foncée. Entre les deux, reposant sur la banquise, le rempart littoral nivéo-éolien avec son couloir de déflation, à droite, et ses crêtes plus loin, au milieu. À hauteur du personnage, neige basse et recristallisée mêlée de sable, qui apparaît aussi en surface, vers la gauche, où il forme une traînée parallèle au rempart.



Photo F. CARON (Mai 1970)

Photo 8 Au fond, la banquise. À droite, un sommet du rempart littoral nivéo-éolien fait de neige tassée et recristallisée et de sable (gris). À son pied, couloir de déflation provoqué par le vent du large.

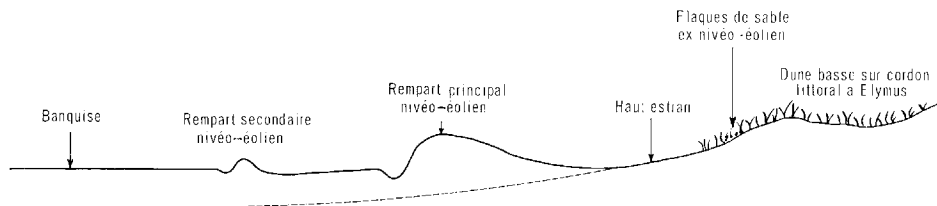


Figure 3 Coupe verticale à l'ouest de la Station.

avec des anses, l'amplitude totale étant de quelques mètres. En profil vertical parallèle au littoral, cette crête est nettement découpée en une suite de sommets séparés par des cols et distants de 5 à 30 m; la dénivelée entre sommets et cols est de 1 à 2 m; les sommets sont le plus souvent sur des saillies du tracé planimétrique. Au pied des saillies les plus nettes, côté mer, il y a souvent une sorte de fossé (photo 8) profond de 1 à 2,5 mètres, large d'autant vers le haut, et qui en épouse le contour en plan, avec une tendance à former un croissant, à cornes pointant vers la terre, et où la profondeur diminue progressivement. Ceinturée par ce fossé, la saillie présente là, face au large, une coupe verticale à vif, très propice aux observations.

Vu de loin, le rempart pourrait être pris pour une accumulation de glaces de mer, drossées à la côte par le vent et la marée, comme on en a décrit maintes fois dans les régions polaires. Mais de près on constate avec étonnement que c'est seulement à son extrême base, à l'altitude même de la banquise voisine, ou peu s'en faut, qu'il est constitué de glace de mer ou, près de l'embouchure, de glace de rivière, l'une et l'autre étant soit plus ou moins continues, soit à l'état de glaçons distincts. Au-dessus, sur la plus grande partie de sa hauteur, le rempart est fait de neige plus ou moins tassée, contenant des grains de sable disséminés dans sa masse (apparemment, guère plus de 1% en volume); il est donc nivéo-éolien. Conséquence évidente de la fusion, le sable apparaît aussi sur la surface supérieure du rempart, en tache ou traînées encore discontinues et minces à la fin de mai.

Au-delà du rempart principal, en direction du large, s'observe par endroits un second rempart nivéo-éolien en moyenne trois fois moins haut et moins large, et parfois même un troisième, encore plus bas et plus étroit; entre chacun d'eux et le suivant s'étend une dépression, où la banquise est à nu fin mai et dont la largeur nous a paru du même ordre de grandeur ou un peu plus petite qu'entre le rempart principal et le premier cordon littoral éolisé voisin, à *Elymus*.

Les remparts reposant sur la banquise, leur matériel n'a pu être accumulé que par le vent. Rien n'exclut que la neige ait pu provenir de plusieurs directions. Vu la platitude de la banquise, le vent de mer (vent du nord-ouest) très violent a pu y balayer la neige et la pousser vers la terre, l'accumulant près du rivage. On a une preuve de ce fait dans les profonds

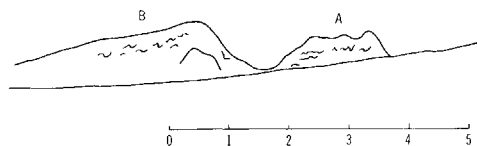


Figure 4 Coupe verticale de l'estran entre les embouchures de la rivière Géophysique et du ruisseau du Nord.

fossés au pied des saillies du rempart, côté mer (photo 8) ; butant contre l'obstacle de ces saillies, le vent renforcé a creusé là avec une efficacité accrue, phénomène maintes fois observé aussi dans les déserts. Mais d'autre part le sable, poussé par le vent, n'a pu venir que de la terre voisine, donc de la direction inverse.

Une variante a été observée dix jours plus tard, le 30 mai 1970 plus au nord, sur une autre plage sableuse, entre les embouchures de la rivière Géophysique et du ruisseau du Nord (figure 4). Le nivéo-éolien, à un état de fusion plus avancé vu la date, repose ici à l'emplacement probable d'anciens glaçons, drossés à la côte ; il est disposé en paquets de 1 à 5 mètres de large, plus ou moins triangulaires, à sommets du côté terre, alignés parallèlement au rivage ; la distance d'un sommet au suivant est, en mètres, de : 7-7-4-6-6-2-13-5-5-6-11. Le dessus est incliné de 10 à 25° vers la mer, alors que la pente de la plage n'est que de 5° environ. Le sable y est épais de 3 centimètres ; dessous, s'observe la neige durcie. D'après les observations de Daniel Lagarec et Serge Payette en mars 1972, les arêtes supérieures des glaçons drossés à la côte lors des tempêtes automnales, forment un obstacle qui favorise l'accumulation de neige et seraient ainsi à l'origine des remparts, au moins en partie.

Le 30 mai 1970, un rempart nivéo-éolien est observé plus au nord encore, au droit de l'île Malvern du Nord (figure 5) ; il est, comme partout

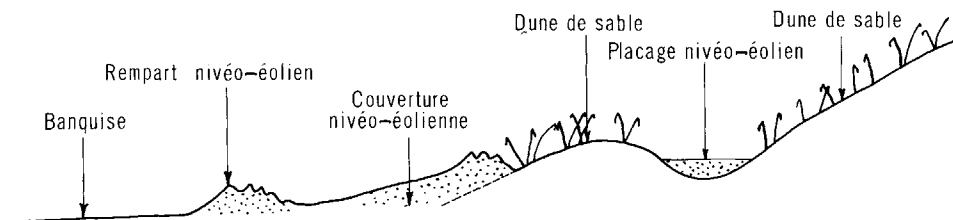


Figure 5 Coupe verticale sur le rivage du continent, au droit de l'île Malvern du Nord.

parallèle au rivage et mesure 200 m de long et jusqu'à 20 m de large dans sa partie nord, où il s'appuie au roc. Le dessus sableux est mince, et il commence à apparaître des cônes, l'une des formes de dénivation que nous allons décrire un peu plus loin.



Photo F. CARON (Mai 1970)

Photo 9 *Rides de sable sur la neige tombée la veille.*

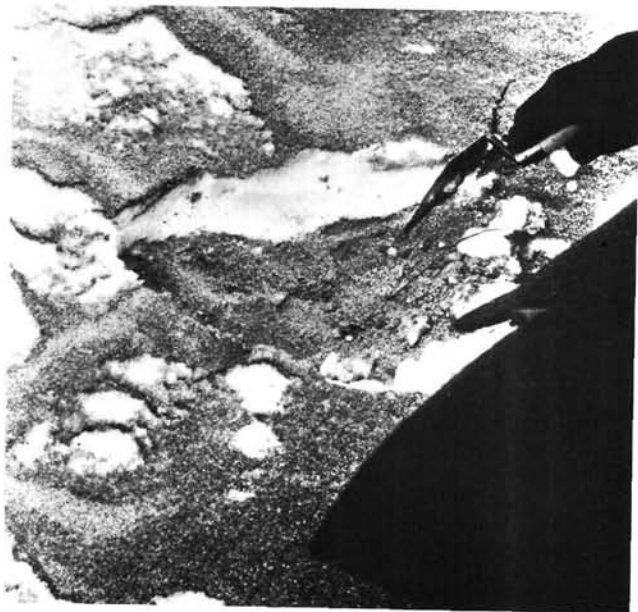


Photo F. CARON (Mai 1970)

Photo 10 *Au milieu de la photo précédente, on pratique une coupe verticale : le sable repose sur la neige. Seul le vent a pu l'y apporter.*

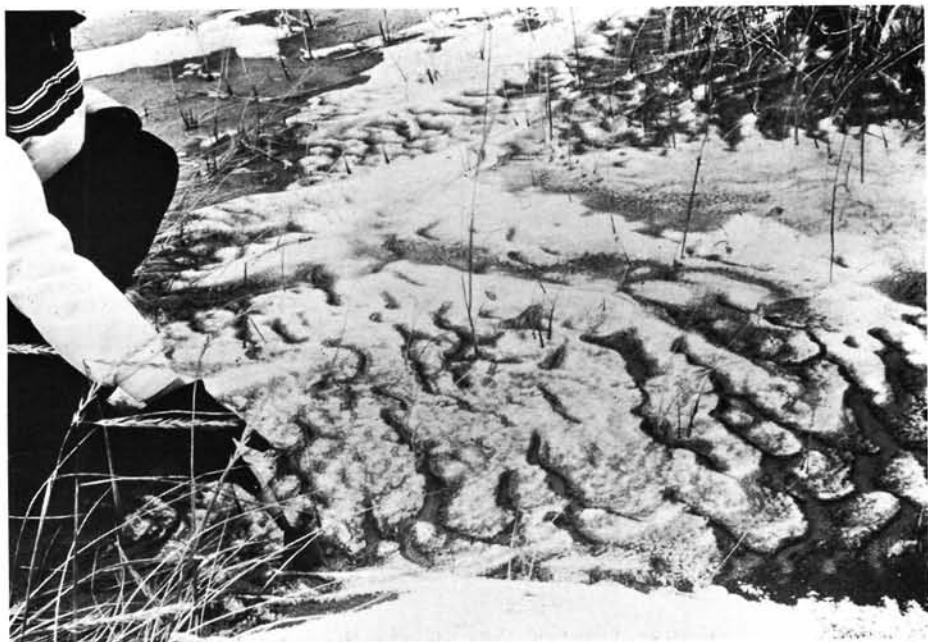


Photo F. CARON (Mai 1970)

Photo 11 *Rides mixtes de sable (gris) et neige tombée la veille, sur l'un des cordons littoraux émergés à chaumes d'Elymus. Disposition rappelant celle de dunes transversales.*

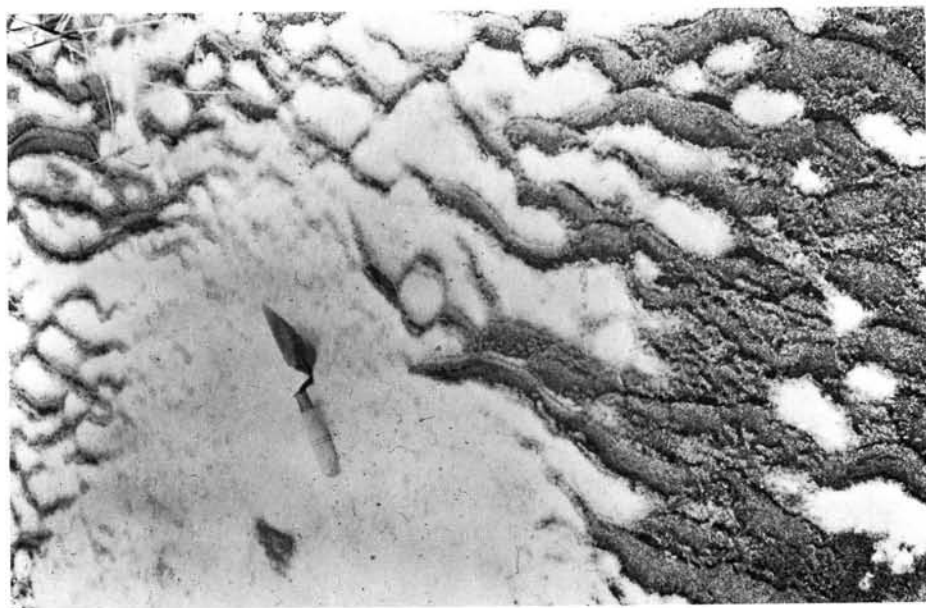


Photo F. CARON (Mai 1970)

Photo 12 *Comme photo 11. Transition entre la disposition transversale (en bas) et réticulée (en haut).*



Photo A. JAHN (Juin 1970)

Photo 13 *Comme photo 12. Disposition rappelant celle d'un champ de dunes.*



Photo A. JAHN (Juin 1970)

Photo 14 *Forme de dénivation. Champ de cônes dans lequel on a pratiqué une coupe verticale (1er plan). Le sable repose sur la neige. Dans une cuvette de déflation.*

C. Les formes décimétriques

Après les chutes de neige du 19 mai 1970, on peut voir, les 20 et 21 mai, sur les flaques neigeuses, des rides de sable (photos 9 à 13), larges de 1 à 5 décimètres, espacées de 0,5 à 2 décimètres, et organisées soit en systèmes parallèles avec quelques anastomoses, soit en réseaux. En pratiquant une coupe verticale, on constate que le sable repose sur la neige ; il s'agit donc bien d'une forme d'accumulation nivéo-éolienne. Ces rides étant incomparablement plus photogéniques que les rides de sable sur sable, ou de neige sur neige, pourront être un matériel de choix pour l'étude. Leur dessin rappelle souvent, à une toute autre échelle, celui de champs de dunes vues d'avion, bon argument en faveur de l'hypothèse ondulatoire,



Photo A. JAHN (Juin 1970)

Photo 15 Sur les cônes de déviation, le sable humide est en boulettes. En blanc, neige recristallisée.

proposée par Matschinski et Clos-Arceduc pour expliquer leur genèse, et qui semble bien s'appliquer à différentes échelles.

Dans ces champs de rides de sable sur neige, l'étendue relative du sable peut varier beaucoup, d'où, vue de loin, toute une gamme de pouvoirs réflecteurs (albedos) allant de la neige pure au sable pur. Il se peut qu'un effet du même ordre explique certaines variations de teinte observées sur la planète Mars, entre autres par Mariner 9.

À Poste-de-la-Baleine, d'autres formes décimétriques, très différentes, sont liées à la *dénivation*. En 1970, elles commencent à apparaître vers le 20 mai, entre la Station principale et la Station géophysique. Comme en 1969, elles deviennent de plus en plus nettes en juin. La description, donnée en 1969 par J.-C. Rochette et A. Cailleux, est confirmée par les observations de 1970. Rappelons-la, en la complétant :

En cette période de l'année, où beaucoup de neige a déjà fondu, les dépôts nivéo-éoliens n'ont pas une surface égale, mais nettement accidentée, visiblement à la suite des inégalités de la fonte de la neige, d'un point à l'autre. On peut distinguer, dans cette microtopographie, au moins deux variétés principales caractérisées par des cônes pointus et des mamelons doux.



Photo A. JAHN (Juin 1970)

Photo 16 *Le rempart littoral nivéo-éolien en cours de dénivation. Champ de cônes. En arrière, à gauche, la banquise.*

1. *Cônes pointus* (photos 14 à 18), de 10 à 30 cm de haut, presque toujours groupés en champs et alors soit contigus ou presque, soit espacés (photo 14). Sur les bords, ils passent à des plaques de sable plus basses ; dans celles-ci, et dans certains cônes (photo 15), les grains de sable sont agglomérés en boulettes de 3 à 8 mm de diamètre. Les cônes ne s'observent que là où le sable du dessus est mince (photo 14) : 1 cm, rarement 2.

2. *Mamelons doux* (photos 19 à 21), à sommet courbe et arrondi, hauts de 10 à 30 cm, le plus souvent groupés, distants de 40 à 100 cm, séparés par des dépressions en cuvettes, et quelquefois alignés, notamment à l'emplacement du rempart principal et des autres champs allongés. Trait caractéristique : le sable de ces mamelons est crevassé, ce qui s'explique probablement de la manière suivante, en deux phases : à l'origine, en hiver, la surface du dépôt nivéo-éolien était probablement, dans son ensemble, plane, ou peu s'en faut ; ensuite, au printemps, par suite de la fonte inégale de la neige du dessous, se sont formées des dépressions qui ont eu tendance à s'accroître. La surface du sable de couverture a été ainsi obligée de se déformer, pour continuer à épouser les formes de la neige ; ce faisant, elle a été contrainte d'occuper une plus grande superficie d'où l'apparition des déchirures, si remarquables.



Photo A. JAHN (Juin 1970)

Photo 17 Le rempart nivéo-éolien littoral en cours de dénivation. Champ de cônes. À gauche du personnage, coupe verticale montrant la neige sous le sable.



Photo A. JAHN (Juin 1970)

Photo 18 *Le rempart nivéo-éolien littoral en cours de dénivation. À droite, mamelons doux (?). Au milieu, champ de cônes ; la neige du dessous apparaît dans une section verticale.*



Photo A. JAHN (Juin 1970)

Photo 19 *Mamelons doux. Dans le sable humide, les craquelures sont bien visibles.*



Photo A. JAHN (Juin 1970)

Photo 20 Rempart nivéo-éolien littoral de l'estuaire en voie de dénivation. Mamelons doux (buttes) à craquelures.



Photo A. JAHN (Juin 1970)

Photo 21 Comme 20. Le personnage montre la neige, visible en coupe verticale sous le sable gris clair et sec. Au fond, la banquise.

En coupe, à la mi-juin, les mamelons doux présentent une épaisseur de sable de couverture franchement plus grande que les cônes : de 2 à 20 cm. Vers la fin de juin 1969, toute la neige du dessous a fini de fondre, dans la majorité des mamelons. Mais sur les placages de sable nu, ou les bas de versants de dunes vives, l'œil exercé reconnaît très facilement les anciens emplacements de mamelons, grâce à la fissuration caractéristique du sable, qui demeure parfaitement visible, jusqu'à ce que la première grande tempête l'ait érodée ou ensevelie sous du sable neuf, non fissuré. Si par chance de telles fissurations étaient décelées dans des sables anciens, de genèse incertaine, elles seraient, grâce à leur géométrie très spéciale, un indice très sûr d'intervention de neige dans le dépôt.

Un même placage nivéo-éolien peut présenter, de l'une à l'autre de ses parties, soit des mamelons arrondis, soit des cônes, soit des formes plus irrégulières, soit enfin de simples flaques, avec des transitions entre ces formes.

Maurice J. Grolier a eu l'amabilité de nous signaler des mamelons doux nivéo-éoliens à craquelures, sur le revers des dunes de Grand Sable, à 8 km à l'ouest de Grand Marais, comté d'Alger, Michigan ; d'autres près des précédentes, mais reposant sur un cône alluvial à son débouché sur la plage du Lac Supérieur ; d'autres enfin sont signalées par Grandell et Fahnestock (1965) au Mont Rainier (Washington) à la surface d'une coulée boueuse récente.

D. *Les formes mineures de dénivation*

Elles sont centimétriques ou millimétriques. Certaines sont plus ou moins expliquées, d'autres ne le sont pas encore, mais toutes sont très curieuses et méritent une description détaillée, notamment pour le cas où il en serait trouvé des traces soit dans des sédiments anciens soit encore à la surface actuelle du terrain.

On peut en distinguer deux sortes :

1. *Microformes de plein air*

Micromoraines de dénivation. — De la neige étant tombée le 19 mai, on peut voir le 20 mai, sur le bord d'une flaque de neige, des microbourrelets de 2 à 3 mm de haut, 10 à 15 de long, 3 à 4 de large, un peu sinueux, faits de grains de sable agglomérés humides.

Leur formation s'explique par une observation du lendemain, en un autre point, juste au contact de l'estran et du premier cordon littoral à *Elymus*. Là, la neige du 19 mai a recouvert un sable bien plan et lisse. Le 21, il reste une flaque de neige de 1 à 1,2 m de long sur 60 à 70 cm de large et 1 à 3 cm d'épaisseur estimée à vue ; ses bords sont contournés. Autour, le sable est humide, preuve que la flaque fut plus grande et est en voie de fonte, au soleil du 20 et du 21 ; d'ailleurs, les ruisseaux de fonte de la région coulent abondamment. La zone humide a 10 à 40 cm de large,

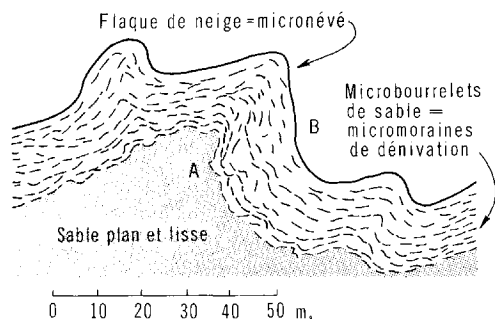


Figure 6 *Micromoraines de dénivation, résultat de la fonte d'une plaque de neige mêlée de sable (B), le tout vu de dessus.*

médiane 20 cm. Sur sa surface très lisse se voient des microbourrelets de 1 à 4 mm de large, 1 à 3 de haut, 5 à 20 ou 25 de long (figure 6). Ils sont parallèles au bord bien visible de la flaque, dont ils épousent les contournements. Les plus récents sont au contact même de la neige. Les autres leur sont parallèles, épousant leurs contournements et leur dessin général, et concentriques, formant 10 à 20 microremparts successifs séparés par des intervalles libres et matérialisant les retraits successifs du bord de la flaque. Tous résultent de la fonte de la neige, sur son bord : les grains de sable qui étaient mêlés à celle-ci, deviennent libres, déboulignent vers le bas et s'accumulent au pied du microversant de neige. Le processus n'est pas à vitesse uniforme, mais saccadé, puisque le sable ainsi déposé ne forme pas un tapis continu, mais une succession de microbourrelets distincts, dans le sens distal-proximal, c'est-à-dire un peu plus ancien à un peu plus récent. Les microbourrelets sont les *micromoraines* successives du retrait d'un *micronévé* éphémère. Les saccades, ayant été au nombre de 10 ou 20 en deux jours, ne peuvent pas s'expliquer ici par la seule variation diurne de la température, mais plutôt peut-être par des alternances de temps ensoleillé et nuageux. Et tel est en effet le temps, le 21 mai.

Mais il y a probablement aussi d'autres raisons aux saccades, car le 4 juin, sur la rive sud de la Grande rivière, au pied de l'abrupt de la terrasse principale, une grosse flaque de neige présente sur son pourtour, côté mer, des micromoraines de dénivation en microbourrelets, dont on voit les prochains successeurs déjà esquissés sur la neige elle-même, par les grains de sable en voie de rassemblement naturel.

Glomérules et boulettes (photos 22 et 23). — Sur les flaques de sable, sur les cônes pointus et ailleurs encore, les grains de sable ont une tendance nette à se grouper en glomérules sphériques de 10 à 40 grains, mesurant 2 à 10 mm de diamètre. Ceux-ci sont fréquents sur la neige fondante (photo 22). Sur la rive sud de la Grande rivière, sous forêt, nous avons noté déjà les boulettes de 6 à 24 mm de diamètre, médiane 12 mm, ressemblant à des crottes de mouton ; le 4 juin 1970, on voit celles-ci surtout près de flaques d'eau stagnantes ; mais dans l'eau elle-même, boulettes et glomérules sont défaits, effondrés. Il faut donc un peu d'eau pour qu'ils se forment, mais pas trop pour qu'ils se conservent.

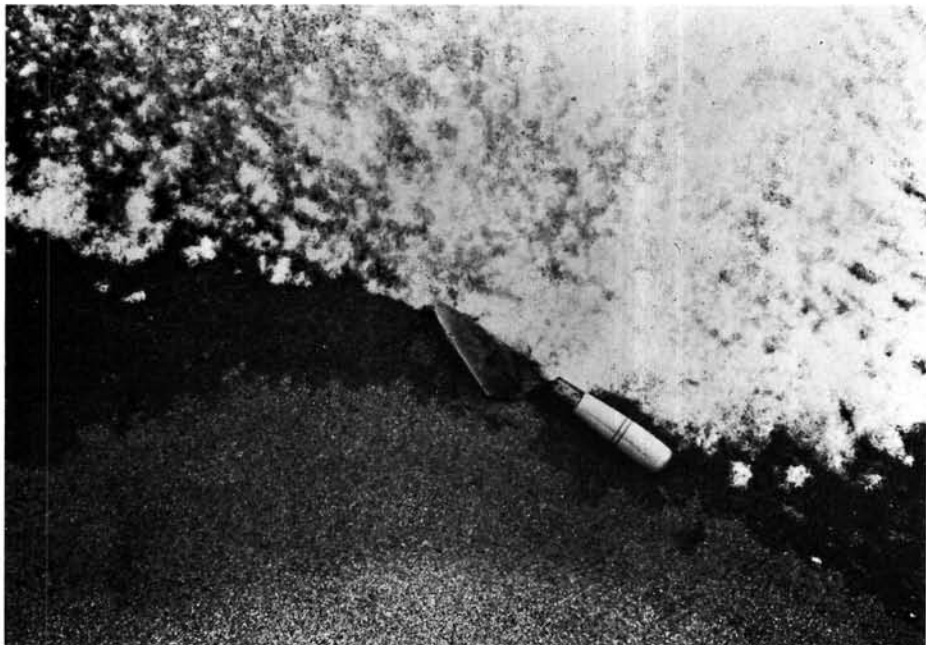


Photo A. JAHN (Juin 1970)

Photo 22 *Bord d'une flaque de neige. En haut, la neige, où le sable inclus se rassemble en glomérules (en haut, à gauche). Un peu plus près, sable encore humidifié par l'eau de fonte (foncé). Plus près encore, le sable déjà sec (gris plus clair).*



Photo A. JAHN (Juin 1970)

Photo 23 *Dans une cuvette de déflation, dénivellation. Cônes et sable en glomérules épars.*

Le 20 mai 1970, a pu être observé l'un des modes possibles de formation des boulettes. Sur une neige récente, ou avec elle, le vent a parsemé un peu de sable. Petit à petit, au soleil, on passe d'une surface uniforme à l'aspect suivant : le sable est concentré surtout au fond de petites cuvettes ou godets de glace, en glomérules de 10 à 40 grains. Explication probable : ce sable absorbe la chaleur, et fait fondre ainsi, plus vite, la glace du dessous, processus bien connu qui, à plus grande échelle, conduit sur les glaciers à la formation des *trous à cryoconite*. Ici, chaque godet est entouré d'une collerette ou d'une couronne de pinnacles, saillantes, de 1 à 2 centimètres de haut, l'une et l'autre formées non pas de neige, mais de glace bien transparente. Explication possible : regel, favorisé par le froid dû à l'évaporation par le vent, plus fort évidemment à la hauteur des pinnacles, tandis que le fond des godets est abrité. Il y a là un curieux exemple de *microclimat centimétrique*.

Réseaux. — Au sud de la Grande rivière, au pied de l'abrupt de la terrasse, s'étend une accumulation de neige. Le 4 juin 1970, on voit, à sa surface, du sable en petites taches et trainées, épaisses de 1 mm, dessinant un réseau ; vers le bas de l'accumulation, le tapis de sable est plus continu. À l'extérieur de la flaque, sur son pourtour, outre des microbourrelets de dénivation, et des boulettes, on voit aussi des réseaux, peut-être dus à la fonte de la glace de regel à trous (?).

2. Microformes sous surplomb nivéo-éolien ou cryo-littoral.

C'est encore près de l'embouchure de la Grande rivière, sur la rive sud, qu'elles ont été observées, le 4 juin 1970. Le rempart nivéo-éolien littoral y est alors en état de dénivation avancée, sous la forme de mamelons doux ou de croupes douces, hauts de 30 à 50 centimètres, et bien entendu recouverts de sable. Sous celui-ci, la neige est en majeure partie recristallisée par regel, surtout un peu au-dessus du bas, où elle a pris la consistance de glace, rendue très hétérogène par la présence de bulles, trous et canalicules remplis d'eau de fonte ou d'air et par l'irrégularité de la répartition du sable inclus. Ce banc de glace est peut-être nivéo-éolien, mais peut-être aussi comme nous l'ont suggéré MM. Poser et Hagedorn, en partie cryolittoral (congélation de l'écume, à la limite extrême des vagues de la mer) ou les deux à la fois : des mesures de salinité permettront de trancher.

Quelle qu'en soit l'origine exacte, ce banc de glace est assez solide pour former, par endroits, des surplombs, dont le toit est de 10 à 20 centimètres au-dessus du plan de l'estran, et dont la corniche est en saillie de 10 à 15 centimètres. Le tout forme un abri sous glace en miniature. Sur le plancher sableux de cet abri s'observent au moins trois sortes de microformes très remarquables, dont on peut saisir sur le vif la formation :

a. *Microcratère d'impact de gouttes d'eau.* Petites cuvettes circulaires d'environ un centimètre de diamètre, rappelant celles que donnent les gout-

tes de pluie, mais différant d'elles par un caractère essentiel : leur bord n'est pas déchiqueté, mais lisse et net, sans trace d'arrachement. On voit ces cuvettes se former quand, du toit de glace hétérogène, tombe une goutte d'eau de fonte ; la vitesse de chute, très faible sur cette courte distance, explique la douceur du contour, par opposition au cas des gouttes de pluie, bien plus rapides donc bien plus violentes.

b. *Pastilles de sable*. Ellipsoïdes aplatis de 1 centimètre de diamètre. On les voit se former quand du toit tombe un glomérule de sable mêlé d'un peu de glace fondante ; en tombant sur le sol, il s'aplatit.

c. *Stalagmites de sable* (photo 24). Ce sont les microformes les plus photogéniques et les plus étonnantes. Elles ont jusqu'à 10 à 12 centimètres de haut. À regret, on en casse une : on constate qu'elle est très fragile et faite de sable mouillé pur, sans glace, du moins à cette heure chaude de la journée. Quelques-unes atteignent même le toit. De celui-ci, nous n'avons vu pendre aucune stalactite. Par contre, on voit des gouttes tomber du toit juste sur le sommet de la stalagmite. En passant la main entre les deux, on

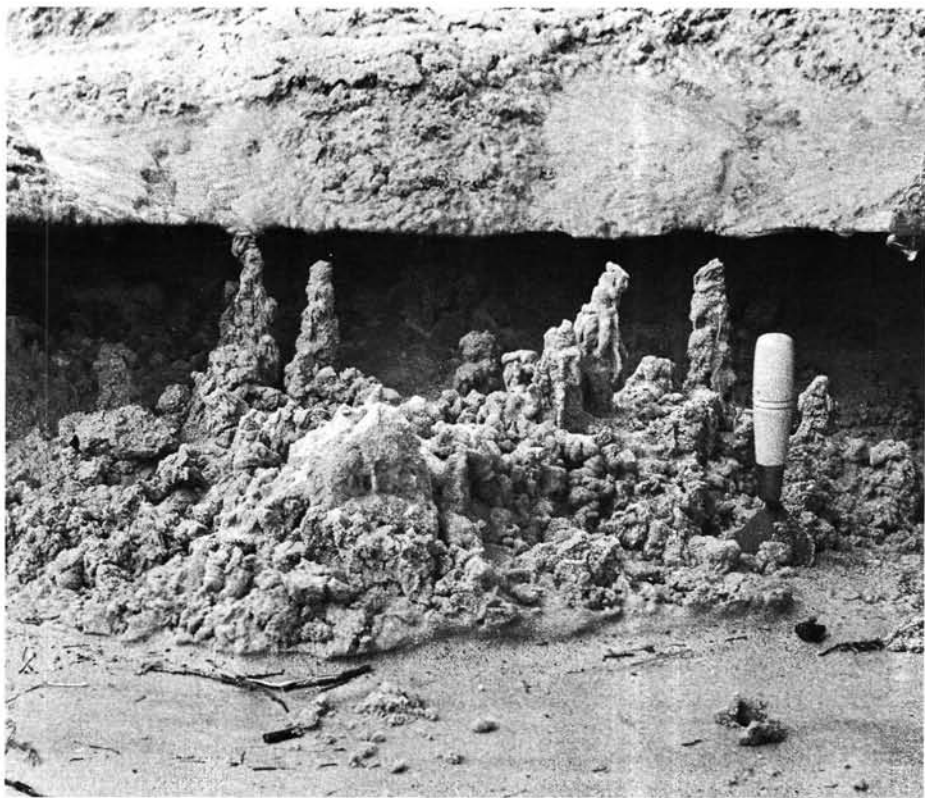


Photo A. JAHN (Juin 1970)

Photo 24 Sous un banc de glace sableuse à la base du nivéo-éolien, stalagmites de sable humide, formées par la chute de gouttes d'eau de fonte mêlée de sable.

recueille la goutte et on constate qu'elle est faite d'eau de fonte non pas pure, mais mêlée de grains de sable (à vue : plusieurs dizaines). La formation des stalagmites est alors évidente : c'est le cas *b* intermédiaire entre les deux précédents (*a* et *c*) :

<i>Ce qui tombe :</i>	<i>Forme résultante</i>
a. Eau pure	Microcratère d'impact
c. Eau avec un peu de sable	Stalagmite de sable
b. Glomérule de sable	Pastille de sable

Le fait que les trois formes coexistent à courte distance souligne l'hétérogénéité de cette glace de regel. La formation des stalagmites implique la permanence, au moins pendant quelques heures, du point d'où se détachent les gouttes chargées de sable. En tombant sur la stalagmite déjà formée, la goutte abandonne son sable au sommet, d'où augmentation de hauteur de la stalagmite ; quant à l'eau, il est probable qu'elle s'infiltre dans le sable ou qu'elle suinte à sa surface ; dans les deux cas, elle contribue à le maintenir humide.

Comme les stalagmites de sable résultent, à l'origine, d'un processus de fonte, on pourrait les ranger, de ce point de vue, parmi les formes thermokarstiques. Elles ajoutent une nouvelle ressemblance à celles qu'on a signalées de longue date entre les formes dues à la dissolution des roches et à la fonte de la glace, entre le karst et le thermokarst. Elles étendent ces ressemblances du domaine de l'ablation, amplement décrit, à celui de l'accumulation, qui jusqu'ici ne l'était guère.

E. Destinée du nivéo-éolien annuel

Toutes les formes précédentes, des majeures aux mineures, sont plus ou moins détruites chaque année. On peut distinguer au moins trois cas.

Dégradation et disparition du rempart littoral. Interviennent non seulement la fonte, mais encore, dès que la banquise est disloquée, les marées. L'eau envahit d'abord les intervalles entre les mamelons doux, puis elle dégrade les mamelons eux-mêmes (photo 20, au second plan). Dès que la mer est suffisamment dégagée de glaces, les vagues deviennent plus fortes et, en déferlant, éparpillent les derniers restes des mamelons, aplanissent l'estran sableux et lui donnent, à ce point de vue au moins, un aspect assez semblable à celui des littoraux des pays tempérés.

Effacement éventuel des mamelons doux sur les dunes. Il est possible que les craquelures caractéristiques disparaissent, soit que le vent enlève le sable, soit qu'il le recouvre par apport de sable neuf. Si le second cas se réalise effectivement, il serait intéressant de rechercher s'il n'y a pas fossilisation, comblement des craquelures ; d'où peut-être préservation partielle de leur dessin.

Persistence éventuelle de microbourrelets, boulettes, réseaux ou flaques minces de sable de dénivation. Nous l'avons notée sous forêt, en surface du terrain mais aussi sur des dunes. Elle serait intéressante à étudier de plus près. En particulier, les différences observées dans la granulométrie pourraient, si on les précise par des tamisages, fournir un critère du nivéo-éolien, par opposition aux simples dunes, où la granulométrie semble à première vue plus uniforme d'un lit de sable à l'autre.

III. — CONCLUSIONS

Dans notre connaissance du nivéo-éolien, il subsiste certes beaucoup de lacunes. Mais nous commençons à les combler. Ainsi nous savons que vers le 15 mars 1972, le rempart littoral est à peine esquissé, et qu'il naît sur un rempart de glaçons : l'obstacle formé par ceux-ci favorise l'accumulation de la neige. Dans les 15 prochains mois nous espérons mieux décrire la genèse, puis l'effacement ou la fossilisation de ces formes. Mais dès maintenant, et par tous les exemples évoqués, nous voyons les intérêts variés de ces formes et de ces processus nivéo-éoliens pérennes ou annuels :

— Intérêt intrinsèque d'abord : plusieurs, parmi ces formes, sont vraiment curieuses, soit dans leur aspect, soit dans leur genèse.

— Intérêt extrinsèque aussi : nous avons, chemin faisant, décrit un nouvel aspect des formes littorales, les remparts nivéo-éoliens ; une nouvelle microforme thermokarstique, les stalagmites de sable. Nous avons fait appel au concept de dénivation, comparable à celui de déglaciation, et décrit certaines de ses formes, par exemple les micromoraines. Nous avons envisagé des microclimats centimétriques, importants pour comprendre les processus élémentaires de la fonte.

Au passage, nous avons aussi noté des aspects qui pourraient peut-être contribuer à expliquer certains traits de la planète Mars, compte tenu du fait que la neige ou le givre carbonique y remplace, pour une bonne part, la neige ou le givre hydrique : stratifications subhorizontales, variations de teinte ¹.

Enfin, pour garder les pieds sur Terre, notons l'intérêt pratique éventuel de ce genre d'étude. En saupoudrant de sable la neige qui recouvre la banquise, peut-être accélérerait-on sa fonte ou sa dislocation. On y a songé pour libérer de glaces tout l'Océan glacial arctique ; mais les répercussions climatiques seraient, pour une part, probablement désastreuses et ce projet est, à juste raison, très discuté. Plus avantageux, probablement, serait le dégagement limité de certains chenaux, dans les archipels polaires, afin de les ouvrir plus tôt à la navigation. En tout cela il y a, pour les jeunes, de bien belles perspectives de recherches.

¹ *Similarities between some features on Mars and niveo-eolian on the Earth.*

(Observations présentées par M. André Cailleux à une communication du Dr S. Miyamoto au 24^{ème} Congrès géologique international, section de Planétologie, Montréal, Août 1972)

Seasonal changes, as studied by Dr S. Miyamoto, or shown by Mariner 9 photographs, and layered deposits around the South Pole, beautifully shown by the same series of photographs, might be partly explained by transportation by wind, not only of water-vapour, or carbonic vapour, but also of mineral dust.

On our Earth itself do exist such mixed deposits, made of alternating layers of snow and sand : the so-called niveo-eolian deposits. They were noted by C. E. Wegmann in Greenland, studied by Alfred Jahn in Poland and by myself in Antarctica and here, in North America. In Antarctica, they are perennial, and so are a kind of permafrost, just as has been proposed by some authors for the circumpolar layered deposits of Mars. On the other hand, on the East Coast of Hudson Bay, at Great Whale River (Poste-de-la-Baleine), they are annual, forming at the beginning of spring, then simultaneously or alternately nourished by wind-driven snow and sand ; in May, their surface often shows ripples or networks of sand upon snow which, seen from above, would give, according to their relative proportions, every albedo you wish between that of pure snow and that of pure sand. Finally in June, all snow melts away.

Of course, on the Earth, it is hydric snow instead of carbonic snow or hoar-frost prevailing on Mars. Nevertheless, it seems likely that, on the Earth, those niveo-eolian deposits are one model that it might be interesting to compare with the above mentioned aspect or features on Mars. Laval University, Centre d'Études nordiques, has established at Great Whale River a permanent Research Station, where we are conducting studies on the niveo-eolian. One paper has been yet published *, the present paper is the second one. The members of the Centre d'Études nordiques would be glad to assist interested people in their studies on the subject.

* ROCHETTE Jean-Claude et CAILLEUX André (1971). Dépôts nivéo-éoliens annuels à Poste-de-la-Baleine, Nouveau-Québec. *Revue de géographie de Montréal*, XXV (1) : 35-41, 13 fig.

BIBLIOGRAPHIE

- BRYAN, M. Leonard and MARCUS, Melvin G. (1972) Physical characteristics of near-shore ice-ridges. *Arctic*, 25 (3) : 182-192, 5 fig.
- CAILLEUX, André (1962) *Études de géologie au détroit de Mc Murdo (Antarctique)*. C.N.F.R.A., rue Gay-Lussac, Paris, vol. 1, 41 p., 83 fig. English translation : « Periglacial of Mc Murdo Strait, (Antarctica) », *Biul. Perygl.* (Lodz), 1968, no 17, p. 57-90, 12 pl.
- CAILLEUX, André (1963) *Géologie de l'Antarctique*. Paris, Sedes, 210 p., cf. p. 103.
- DORT, Wakefield Jr. (1966) Antarctic Cirques and Glaciated Valleys. *Antarctic Journal*, 1 (4) : 137-138.
- DORT, Wakefield Jr. (1967) Geomorphic Studies in Southern Victoria Land. *Antarctic Journal*, 2 (4) : 113
- DORT, Wakefield Jr. and others (1969) Firm-Ice Relationship, Sandy Glacier, Southern Victoria Land. *Geografiska Annaler*, Stockholm, 51 A (3) : 104-111.
- HAMBERG, Axel (1907) Die Eigenschaften der Schneedecke in den lappländischen Gebirgen. *Nat. Unters. Sarek*, Stockholm, 1 (3) Lief. 1 : cf. p. 32, fig. 15.
- JAHN, Alfred (1969) Niveo-eoliczne procesy w Sudetach i ich działanie na glebę (English summary : « The Niveo-Eolian Processes in the Sudetes and their Action on the Soil »). *Probl. Zagosp. Ziemi Gorsk.*, 5 (18) : 53-92, 16 fig.
- JAHN, Alfred (1972) Niveo-eolian Processes in the Sudetes Mountains. *Geographia polonica*, 23 : 93-110, 8 fig.
- KOBENDZINA, Jadwiga (1961) Niektóre zjawiska towarzyszące procesom eolicznym na wydmach Puszczy Kampinoskiej (English summary : « Some Phenomena Accompanying Eolian Processes on Dunes in the Kampinos Forest »). *Przegląd Geogr.*, 33 (3) : 539-542, 5 phot.
- KOCH, J.P. et WEGENER, A. (1911-1917) Die glaciologischen Beobachtungen der Danmark- Expedition. *Danmarksexpeditioner til Grönlands Nordostkyst 1906-1908. Medd. Grönl.*, Copenhagen, H. 46, cf. p. 67, fig. 90.
- KRUUSE, C. (1911) Rejser og Botaniske Undersøgelser i Ost-Grönland mellem 65°30' or 67°20' i Aarene 1898-1902 samt Angmagsalik-Egnens Vegetation. *Medd. Grönl.*, Copenhagen, H. 49.
- LINNÉ, Carl von (1745) *Öländska och Gotländska Resa*... Stockholm.

- LINNÉ, Carl von (1751) *Skanska Resa...* Stockholm.
- NARES, G.S. (1878) *Narrative of a Voyage to the Polar Sea during 1875-76 in H.M. Ships Alert and Discovery*. Londres, vol. 1, cf. p. 142.
- RASMUSSEN, Knud (1919) *Norr om människor; Berättelse om den andra Thuleexpeditionen och utforskandet av Grönland från Melvillebukten till Kap Morris Jesup*. Stockholm, cf. p. 209-228.
- ROCHETTE, Jean-Claude et André CAILLEUX (1971) Dépôts nivéo-éoliens annuels à Poste-de-la-Baleine, Nouveau Québec (English summary). *Rev. Géogr. Montréal*, XXV (1): 34-41, 13 fig.
- SAMUELSSON, Carl (1926) Studien über die Wirkungen des Windes in den kalten und gemässigten Erdteilen. *Bull. Geol. Inst. Upsala*, vol. 20, cf. p. 98-104 et fig. 1 et 11.

RÉSUMÉ

Les formes et dépôts nivéo-éoliens actuels en Antarctique et au Nouveau-Québec

En Antarctique, région de McMurdo, vallée de Victoria, des dépôts nivéo-éoliens, faits de lits alternants de neige et de sable entraînés par le vent, épais de 0 à 2 m, sont pérennes. Conjointement aux glaciers à sable inclus, ils sont peut-être apparentés aux dépôts stratifiés découverts par Mariner 9 dans la région polaire sud de la planète Mars.

À Poste-de-la-Baleine, 55°17' Nord, 77°46' Ouest, les dépôts nivéo-éoliens sont annuels, toute la neige fondant chaque été. Ils contribuent à engraisser la première plage soulevée sableuse et certaines dunes. Sur le pied de glace, ils forment 1, 2 ou 3 remparts littoraux éphémères; le plus haut est le plus proche du rivage. Sur la neige fraîche se forment des rides mixtes de sable et neige, dont le dessin ressemble à celui de champs de dunes vus d'avion (traverse, réticulé, lobé... etc.) et est beaucoup plus photographique que celui des rides de neige sur neige ou de sable sur sable. Suivant la proportion relative de neige et de sable, l'albedo peut prendre toutes les valeurs entre celles de la neige pure et du sable pur: ainsi pourraient peut-être s'expliquer une partie des variations d'albedo, en fonction du temps, observées à la surface de Mars.

Les formes de dénivation sont des cônes pointus, des mamelons doux dont la surface est craquelée typiquement, des boulettes de sable, des bourrelets de sable (micromoraines de dénivation) et des réseaux de sable. Sous les surplombs de la glace impure qui forme la base du nivéo-éolien sur l'estran, des gouttelettes tombent; elles forment, si elles sont d'eau pure, des microcratères d'impact; si elles sont de sable humide, des pastilles de sable; dans les cas intermédiaires, des stalagmites de sable.

MOTS-CLÉS : Nivéo-éolien, Neige, Vent
Antarctique, Nouveau-Québec, Mars (planète)

ABSTRACT

Contemporary Niveo-Eolian Formations in Antarctica and New Quebec

In Antarctica, McMurdo region, Victoria Valley, niveo-eolian deposits, made of alternating layers of wind driven snow and sand, 0-2 m thick, are perennial. Together with sandy glaciers, they perhaps have some kinship with the layered deposits discovered by Mariner 9 in the south polar region of Mars.

In Poste-de-la-Baleine, 55°17' N., 77°46' W., niveo-eolian deposits are annual with the snow melting down every year. They contribute to the nourishment of the first sandy raised beach and of some dunes. On the ice-foot, they form 1, 2 or 3 ephemeral beach-ridges, the highest (1-3 m) being nearest the shore. Mixed ripples of sand and snow form on the fresh snow; this pattern is much like that of dune-fields as seen

from the air (transverse, reticulate, lobate, etc.) and is much more photogenic than that of sand upon sand, or snow upon snow. According to the relative proportion of snow and sand, their albedo may have every value between that of pure snow and that of pure sand; this might be one model, among others, of the variations with time observed in the albedo of the Martian surface. Denivation forms are sharp cones, soft rounded hillocks, the sandy surface of which is typically cracked, sand pellets, sand rolls (= denivation micromoraines) and sand nets. Under overhanging impure ice, which forms the base of the niveo-eolian upon the shore-sand, falling droplets of melt-water, when pure, form impact microcraters; if saturated with sand, flattened sand pellets; if intermediate, sand stalagmites.

KEY WORDS : Niveo-eolian, Snow, Wind
Antarctica, New Quebec, Mars (planet)